



## 都市公園池におけるアオコ発生要因を踏まえた水質浄化技術の評価手法開発

著者	山岸 知彦
号	60
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第5245号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00120576">http://hdl.handle.net/10097/00120576</a>

氏 名 やま ぎし とも ひこ 山 岸 知 彦  
授 与 学 位 博士 (工学)  
学 位 授 与 年 月 日 平成 28 年 3 月 25 日  
学 位 授 与 の 根 拠 法 規 学位規則第 4 条第 1 項  
研 究 科 , 専 攻 の 名 称 東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 土木工学専攻  
学 位 論 文 題 目 都市公園池におけるアオコ発生要因を踏まえた  
水質浄化技術の評価手法開発  
指 導 教 員 東北大学教授 西村 修  
論 文 審 査 委 員 主査 東北大学教授 西村 修 東北大学教授 李 玉友  
東北大学准教授 坂巻 隆史

## 論文内容要旨

2013 年度末現在、日本の都市部に整備された都市公園数は 10 万箇所以上に達している。都市公園には、規模は小さいが閉鎖性水域である池が整備されていることが多く (約 1,500 箇所)、より身近な親水空間である公園内の池に対する関心が高まっている。しかし、人々の憩いの場である公園池の多くは、整備から 40 年以上経過しており、それらの池では水質管理がほとんど行われていない。公園池のほとんどは、貯水量が 1,000 万 m<sup>3</sup> 未満であり、しかも公共用水域ではなく、湖沼の環境基準の対象外となるために、水質管理や水質改善対策等が実施されにくい状況にある。

近年、長期間放置された公園池では、富栄養化にともなう植物プランクトンの異常増殖による水面の着色現象である”水の華”の発生が問題となっている。特に、水面が青緑色になる現象であるアオコ (藍藻類の異常増殖) が発生し、景観の劣化と悪臭を引き起こすことが問題となっている。また、公園池の池水が公共用水域等に放流されている箇所もあり、公園池内に有毒あるいはかび臭の原因となる藍藻類 (シアノバクテリア) が大量発生している場合には、下流域にアオコ毒やかび臭等の水質障害を与える可能性が懸念される。閉鎖性が高く、規模の小さい公園池では、栄養塩類が蓄積し、水が滞留しやすいために、植物プランクトンの異常増殖が起こりやすい特性がある。また、公園池の多くは水深が 1m 程度と浅く、河川水等の流入による汚濁負荷がほとんどないために、底質から回帰する栄養塩類等の鉛直混合が容易であり、湖沼等と比べれば、富栄養化のメカニズムが比較的単純な閉鎖性水域と考える。このように公園池は長期間放置していると富栄養化してしまう水域の狭い人工池であり、天然の湖沼等とは異なり、人による水質等の定期的な維持管理が必要な水域である。

しかし、湖沼等と比べると、公園池における生態系 (動植物プランクトンの種組成とその変遷等) を含めた水質調査の事例が非常に少なく、公園池における水質改善対策の検討はわずかである。また、水質浄化技術による改善効果については、改善前後の水質比較等による定量的な評価が不十分であるために公園池における水質改善対策に関するマニュアル等もほとんどない。

そのため、公園管理者からは、公園池の水質および生態系を良好な状態に維持管理でき、自然景観に配慮した経済的かつ効果的な水質浄化技術を用いた改善対策が望まれている。

公園池における水質改善対策には、以下の二つの課題がある。一つ目は、公園池における富栄養化のメカニズムを解明することであり、公園池の生態系の基本となる動植物プランクトンの現存量や種組成の変遷等を含めた定期的な水質調査が必要である。二つ目は、公園池に導入する水質改善手法による改善効果の定量的な評価であり、動植物プランクトンの現存量や種組成の変遷等を含めた改善前後の水質の比較及び公園池内における生態系への影響に関する評価が必要である。

本論文では、都市公園池の水質に悪影響を及ぼしているアオコ（浮遊性藍藻類の異常増殖）対策に着目し、水質浄化技術が考案されているにもかかわらず水質改善対策が展開していない原因として、水質浄化技術による改善効果の評価手法が不十分であるために技術に対する信頼性が低いことに課題があると考えた。そこで本論文の目的は、①都市公園池における水質の季節変化とアオコ発生の関係を明らかにするとともに、②アオコ発生要因を踏まえた水質浄化技術の評価手法を開発し、③この評価手法を用いて浄化技術の効果を定量的に評価することにより、アオコ抑制メカニズムを解明することである。以下に本論文の要旨を示す。

はじめに、一つ目の課題である富栄養化した都市公園池におけるアオコ発生の主な環境要因とそのメカニズムを解明するために、例年アオコが発生している公園池を埼玉県内に整備された都市公園から選定し、水質の季節変化とアオコ発生の環境要因について調査を実施した。公園池の水質調査に関しては、2009年5月から2014年9月の期間中に毎月調査を実施した。また、植物プランクトンと動物プランクトンに関しては、それぞれの現存量とその種組成について2011年5月から2014年9月の期間中に水質調査に追加して実施した。

本研究により得られた都市公園池の水質に関する知見についてその概要を以下に示す。

(1)：表層の水温が最高値となった7月には水温躍層が形成され、躍層上層と躍層下層の水温差が4.2℃になり、日中は鉛直混合が起らず、アオコが形成されやすい状態であることを確認した。(2)：水温躍層形成時にはDO差が約8.2mg/Lであるものの躍層の上層は過飽和で、躍層下層でも7.0mg/L以上であり、底泥の酸化還元電位も+9.5mVであったことから、死滅・沈降した植物プランクトンは好気条件下で酸化分解され、取り込まれていた栄養塩類が池水に回帰していると推定された。(3)：栄養塩類の主な供給源としては、地下水や降雨・降雪等よりも、公園池内で増殖した植物プランクトンの死滅・沈降・分解・回帰による可能性が大きいことが確認された。また、公園池における窒素・リン負荷量の収支残差（消失量）から、リンに関しては、植物プランクトンの細胞内にあるリンが植物プランクトンの死滅・沈降・堆積により徐々に底質に蓄積されている可能性が示唆された。

(4)：透明度が最も低下（0.22～0.31m）する7～9月は、アオコを形成する主な原因種である *Microcystis* 属が優占種となり、その現存量が最大となる傾向を示した。(5)：*Microcystis* 属の現存量については、水温が12.6～22.6℃となる2～4月に堆積物表層で越冬していた細胞が再浮上し増加が始まり、31℃を超えると増加が抑制される傾向が示された。また、水温が23.6～30.6℃の範囲において、その現存量が最大となった。(6)：水温が21.3

～29.5℃となる5～6月は、競争者である珪藻類（*Aulacoseira* 属、*Cyclotella* 属）や緑藻類（*Golenkinia* 属）が優占種となり、*Microcystis* 属の増殖が抑制されていた可能性が示唆された。(7)：*Microcystis* 属の現存量が最大となる7月又は9月に捕食者である動物プランクトンの現存量が一時的に低下する傾向を示し、*Microcystis* 属の増殖が抑制されていた可能性が示唆された。(8)：公園池におけるアオコ発生のメカニズムが水温を主な環境要因として解明できた。

次に、二つ目の課題である公園池に導入する水質改善手法の効果について定量的な評価手法を構築するために、公園池内に隔離水界（水面積 100m<sup>2</sup>（10m×10m）、水深約 1m）を設置し、隔離水界内（対照区）と隔離水界外（外界）における水質と植物プランクトンの季節変化について約 3 年間調査を実施した。調査結果を整理・解析・評価することで隔離水界の水質特性について検討し、公園池における隔離水界を用いた水質浄化技術の評価手法の有効性について検証した。

本研究により得られた隔離水界の水質特性に関する知見についてその概要を以下に示す。

(1)：pH と DO に関しては、外界と隔離水界において相関関係なしと判定され、季節変化（周期性）が見られないことから、植物プランクトンの光合成と呼吸作用による日変動の影響が大きいことが確認された。(2)：隔離水界の池水中における栄養塩類に関しては、植物プランクトンの増殖による影響が少ない冬季（1 月又は 3 月）は、栄養塩類は少なく（TN：41～91g、TP：8.8～12.7g）、植物プランクトンが増殖する夏季（9 月）になると植物プランクトンの細胞由来の栄養塩類が高くなり（TN：300～424g、TP：35.5g）、水温の低下に伴い植物プランクトンの増殖が抑制され、死滅・沈降・堆積することで、再び、栄養塩類が少なくなる循環メカニズムが推定された。(3)：隔離水界では、年間を通じて主な優占種として出現する藍藻類と珪藻類の出現する時期と種組成に関しては、外界と類似している傾向を示した。(4)：隔離水界では、例年、外界と同様にアオコを形成する浮遊性藍藻類（*Anabaena* 属、*Microcystis* 属）が出現し、池底で越冬していた浮遊性藍藻類が堆積物表層から回帰していることが確認された。(5)：池底が開放した隔離水界では、堆積物表層からの動植物プランクトンの回帰が認められ、長期的な季節変化と種組成が外界と類似しており、外界と同様なアオコ発生のメカニズムを再現できることが確認された。このことから、隔離水界が生態系を考慮した水質浄化技術の評価するのに適した閉鎖性水域であることが示された。

最後に、本研究で得られた、「公園池におけるアオコ発生のメカニズム」と「隔離水界の水質特性に関する知見」をもとに開発した「都市公園池におけるアオコ発生要因を踏まえた水質浄化技術の評価手法」を用いて、「底泥を浚渫する技術」と「水質を直接浄化する技術」の 2 つの分離技術の改善効果について実証試験を実施し、それぞれの試験結果について整理・解析・評価することで、それぞれの技術によるアオコ抑制メカニズムを解明した。

「浚渫手法」に関しては、すでに企業によって実用化された水質浄化技術を用いて隔離水界内の底質（底質面積 100m<sup>2</sup>（10m×10m）、泥厚約 0.4m）を浚渫（浚渫作業日数計 4.5 日）し、浄化効果を評価するために、浚渫後約 1 年間水質調査を実施した。また、「直接浄化手法」に関しては、すでに企業によって実用化された水質浄化技術を

用いて隔離水界内の池水（水面積 100m<sup>2</sup>（10m×10m）、水深約 1m）を直接浄化処理（浄化処理日数計 3.5 日）し、浄化効果を評価するために、浄化処理後約 3 年間水質調査を実施した。

本研究により得られた「浚渫手法」及び「直接浄化手法」による改善効果に関する知見についてその概要を以下に示す。

(1)：隔離水界における越冬中の *Microcystis* 属を含む底質を「浚渫手法」により除去（浚渫作業期間 4.5 日で 49%除去）することにより、池水中への *Microcystis* 属の回帰が抑制され、その結果、*Microcystis* 属の増殖抑制（42%除去）の効果が得られた。また、競争者である珪藻類の増殖抑制（*Aulacoseira* 属：95.5%除去、*Cyclotella* 属：98.4%除去）の効果と、植物プランクトン由来の栄養塩類である TN と TP がそれぞれ 13%と 32%除去されたことと示された。(2)：隔離水界における越冬中の *Microcystis* 属が回帰した池水中の懸濁物質を「直接浄化手法」により除去（浄化作業期間 3.5 日で 34%除去）することにより、その結果、*Microcystis* 属の増殖抑制の効果が得られた（1 年目：100%除去、2 年目：54%除去）。また、植物プランクトン由来の栄養塩類である TN と TP がそれぞれ 22%と 57%除去されたことが示された。(3)：浚渫手法及び直接浄化手法に関しては、植物プランクトンの捕食者である動物プランクトンに対しては増殖抑制の影響が少ないことが確認され、短期間の浄化処理により、生態系を維持することで持続的な水質改善効果が得られる可能性が示唆された。(4)：本研究により開発した水質浄化技術の評価手法を用いることで、浚渫手法及び直接浄化手法によるアオコ発生抑制のメカニズムが解明できた。

本研究により開発した「都市公園池におけるアオコ発生要因を踏まえた水質浄化技術の評価手法」を実証試験に用いることで、水質浄化技術によるアオコ抑制効果のメカニズムが解明され、その浄化技術の信頼性を高められることが示された。

# 論文審査結果の要旨

国内湖沼の環境基準はこの40年間でわずかに改善したものの達成率は50%程度にとどまっている。一方、国内の都市公園に約10万箇所整備されている公園池も規模は小さいが閉鎖性水域であり、富栄養化による景観の劣化・悪臭の発生の問題が深刻である。このため、公園池の水質および生態系を良好に保つための経済的かつ効果的な水質浄化技術が望まれていたが、公園池における生態系調査の事例が非常に少なく、また水質改善効果の評価手法が確立していない。

そこで本研究では、都市公園池における水質の季節変化とアオコ発生の関係を明らかにし、アオコ発生要因を踏まえて水質浄化技術を適用した場合の改善効果の評価手法を考案し、この評価手法により水質浄化技術の効果を定量的に実証したもので、全編6章からなる。

第1章「序論」では、本研究の背景、意義、目的について述べた。

第2章「都市公園池の現状と水質の課題」では、公園池の整備状況、公園池の特性、公園池におけるアオコ発生による水質問題、水質改善対策に関する問題について整理し、今後の研究課題について述べた。

第3章「都市公園池における水質の季節変化とアオコ発生の環境要因」では、約5年間の定期調査の結果を基に都市公園池におけるアオコ発生メカニズムを解析し、栄養塩は池内で植物プランクトンの増殖・死滅・沈降・分解によって循環し、その過程でアオコが発生すること、アオコの原因藻類である *Microcystis* 属は珪藻類や緑藻類と競争しながら優占し、優占化の主たる環境要因は水温であることを解明した。これは新規性および有用性の高い知見である。

第4章「都市公園池の水質浄化技術の評価に用いる隔離水界の水質特性」では、公園池内に設置した隔離水界の内と外の水質と植物プランクトンの季節変化について約3年間調査を実施し、隔離水界で出現する植物プランクトンの種組成と時期は外界と類似していること、隔離水界では外界と同様にアオコを形成する浮遊性藍藻類 (*Anabaena* 属, *Microcystis* 属) が出現し、池底で越冬していた浮遊性藍藻類が堆積物表層から回帰していることが確認され、隔離水界を用いた水質浄化技術の評価手法が有効であることが示された。これは極めて新規性および有用性の高い知見である。

第5章「隔離水界を用いた評価手法による水質浄化技術の実証」では、公園池の水質改善手法としての底泥浚渫手法と直接浄化手法の浄化効果について、第4章で開発した水質浄化技術の評価手法により実証試験を実施し、越冬中の *Microcystis* 属を含む底質を浚渫により除去することで池水中への *Microcystis* 属の回帰が抑制され夏期のアオコ発生を抑制できること、*Microcystis* 属が回帰した池水中の懸濁物質を直接浄化手法により除去することで高い増殖抑制効果が得られ、その効果はやや弱まるものの2年目も持続することが示された。また、浚渫手法および直接浄化手法は植物プランクトンの捕食者である動物プランクトンに対する影響が少ないことが確認され、比較的短期間の浄化処理により生態系に悪影響を与えず持続的な水質改善効果が得られる可能性が示唆された。これは極めて有用性の高い知見である。

第6章「総括と展望」では各章の結果を総括し、今後の展望を述べた。

以上の通り、本研究は都市公園池におけるアオコ発生要因を踏まえた水質浄化技術の評価手法を開発したもので、この方法により実証試験を行うことで水質浄化効果のみならずアオコ抑制メカニズムが解明され、水質浄化技術の信頼性を飛躍的に高められるため、環境工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。